



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

3D-skannerin käyttöönotto ja käyttömahdollisuuksien kartoittaminen

Tero Lindroos

Opinnäytetyö
Toukokuu 2016
Kone- ja tuotantotekniikka
Modernit tuotantojärjestelmät



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka
Modernit tuotantojärjestelmät

Lindroos, Tero:

3D-skannerin käyttöönotto ja käyttömahdollisuuksien kartoittaminen

Opinnäytetyö 35 sivua, joista liitteitä 5 sivua
Toukokuu 2016

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suorittaa käyttöönotto Tampereen ammattikorkeakoululle hankitulle 3D-skannerille ja tutkia sen käyttömahdollisuuksia oppilaitoksessa ja sen ulkopuolella. Työssä perehdyttiin myös 3D-skannauksen teoriaan, jotta pystyttiin paremmin ymmärtämään laitteen toimintaa. Lisäksi työn tavoitteena oli tuottaa asennusohjeet skannerin ohjelmistolle sekä pikakäyttöohjeet.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa selvitettiin eri 3D-skannausmenetelmiä ja vertailtiin niiden etuja ja haittoja. Työssä tutkittiin skannaukseen käytettävien tilojen ja laitteiden toimivuutta, skannerin käyttökohteita koulussa sekä mahdollisia lisähankintojen tarvetta. Opinnäytetyön käytännön osuus koostui 3D-skannerilla tehdyistä esimerkkiskannauksista ja koulun ulkopuolelta tulleista töistä sekä hankitun skannerin ja toisen valmistajan 3D-skannerin mittausdatan keskinäisestä vertailusta. Lopuksi tehtiin lyhyet ohjeet 3D-skannerin asennuksesta.

Tampereen ammattikorkeakouluun hankittu 3D-skanneri suoriutui hyvin tehdyistä töistä. 3D-skannerin tila on sopiva pienille ja keskisuurille kappaleille. Skannerin käytössä oleva tietokone olisi syytä päivittää tehokkaampaan versioon. Kahden eri 3D-skannerin mittausdataa ei päästy vertailemaan kattavasti ohjelmiston puutteen vuoksi.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Mechanical Engineering
Modern Production Systems

Lindroos, Tero:
The Introduction of the 3D-scanner and Examination of Applications

Bachelor's thesis 35 pages, appendices 5 pages
May 2016

The purpose of this study was to carry out the commissioning of the 3D-scanner that was acquired in Tampere University of Applied Sciences and explore its possible applications in- and outside of school. Theory of 3D-scanning were studied, so that it was possible to better understand the operation of the device. The aim was also to provide installation instructions for the scanner software and quick instructions about how to set up the scanner.

In the theoretical part of the thesis, different methods of 3D-scanning were studied and their advantages and disadvantages were compared. The thesis studies were about of the functioning of the facilities and equipment used for scanning, the scanner applications in the school as well as the possible need for additional purchases. Practical part of the study consisted of example scans in the school and few outside company projects. A comparative analysis of another manufacturer's 3D-scanner measurement data was carried. Lastly, a brief instruction for installing a 3D-scanner software was made.

The 3D-scanner acquired in Tampere University of Applied performed very well in set tasks. The room in which the 3D-scanner was placed is good for small and medium-sized work pieces. The computer that the scanner uses needs upgrading to a more powerful edition. The results of the comparative analysis of the 3D-scanner measurement data was not substantial due to lack of suitable software.

Key words: 3d-scanning, handy scan 700, laser scanning

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	3D SKANNAUSMENETELMÄT.....	7
2.1	Koskettavat menetelmät.....	7
2.2	Ei-koskettavat	9
2.2.1	Strukturoitu valo	10
2.2.2	Time of Flight	11
2.2.3	Vaihe-ero mittaus	12
2.2.4	Kolmiomittaus.....	12
3	CREAFORM HANDYSCAN 700.....	14
4	SKANNERIN KÄYTTÖÖNOTTO	17
5	TUTKIMUSMENETELMÄT.....	18
5.1	PUTKILASER	18
5.2	MITUTOYO	20
6	SKANNERIN KÄYTTÖMAHDOLLISUUDET JA RAJOITUKSET	24
6.1	Tila	24
6.2	Skannerin ja laitteiston rajoitukset.....	24
6.3	Kappaleen ominaisuudet	24
6.4	Käyttökohteet.....	25
6.4.1	Prototyyppien skannaukset, pikamallinnukset sekä geometria- ja muodonmuutosanalyysit.....	25
6.4.2	Kappaleiden 3D-tulostustyöt.....	26
6.4.3	Tuotteiden laaduntarkkailu.....	26
6.4.4	Käänteissuunnittelu	26
6.4.5	Työkalujen, muottien ja jigien suunnittelu.....	27
6.4.6	Dokumentointi	27
6.4.7	Kilpailevan tuotteen analyysit.....	27
6.5	Lisähankinnat.....	28
7	POHDINTA.....	29
	LÄHTEET.....	30
	LIITTEET	31
	Liite 1. Creaform Handyscan 700-asennusohjeet.....	31

LYHENTEET JA TERMIT

TAMK	Tampereen ammattikorkeakoulu
Skanneri	laite, joka mittaa kappaletta ja digitoi sen muotoja ja värejä.
CCD–kenno	Charge-coupled Device, valoherkkä kenno, joka muodostuu pikseleistä ja muuntaa valon tai säteilyn elektroneiksi ja sen jälkeen digitaalseksi signaaliksi.
TOF	Time-of-flight, mittaussuunnittelu, jossa tarkkaillaan lasersäteiden palautumiseen kuluva aika.
CARE	Computer-aided reverse engineering, käänteissuunnittelu
CAD	Computer-aided design, tietokoneavusteinen suunnittelu

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä oli tavoitteena tutkia eri 3D-skannausmenetelmiä, selvittää niiden etuja ja haittoja sekä perehtyä niiden teoriaan. Työssä käydään läpi Creaform Handyscan 700 3D-skannerin käyttöönottoa Tampereen ammattikorkeakoulussa ja tutkitaan sen käyttökohteita oppilaitoksessa kone- ja tuotantotekniikan koulutuksessa sekä selvitetään skannerin käyttömahdollisuuksia käytettävissä olevien tilojen puitteissa.

Tässä opinnäytetyössä käydään läpi vain skannerin käyttöä ja sen teknisiä ominaisuuksia, eikä perehdytä tarkemmin sen mukana tulevaan ohjelmistoon. Tämän lisäksi tavoitteena oli tehdä asennus- ja pikakäyttöohjeet skannerille sekä opetusvideo skannerin ja sen ohjelman käytöstä. Skannerin käytöstä tehtiin myös toinen opinnäytetyö, jossa perehdytään tarkemmin skannerin mukana tulevan ohjelmiston käyttöön.

2 3D SKANNAUSMENETELMÄT

3D-skannauksessa kappale digitoidaan, joko fyysisesti koskettamalla kappaletta ja tallentamalla koordinaattipisteitä tai tarkastelemalla kappaleeseen lähetettyä säteilyä eri menetelmillä. 3D-skannaukseen on lukuisia eri vaihtoehtoja, joilla kaikilla on yksilöllisiä hyötyjä ja haittoja. Siispä on tärkeää valita haluttuun käyttötarkoitukseen parhaiten soveltuva skannausmenetelmä.

2.1 Koskettavat menetelmät

Koskettavassa 3D mittauksessa käytetään koordinaattimittakoneita (kuva 3), mittakäsivarsia (kuva 2), ja työstökoneisiin asennettuja mittapäitä (kuva 1), jotka tunnistavat pisteitä kappaleesta koskettamalla ja ottavat talteen koordinaattipisteitä kolmella eri akselilla: X-, Y-, ja Z- akseleilla kappaleen pinnasta (Heinänen, T. & Järvinen, M. 2014, 157).



KUVA 1. Mittapää (Mitutoyo. 2016)

Mekaaniseen käsivarteen asennettu mittapää antaa paljon vapausasteita verrattuna koordinaattimittakoneeseen, mutta on epätarkempi. Koordinaattimittakoneisiin on myös mahdollista saada skannaavia mittapäitä, jotka liikkuvat mitattavan kappaleen pintaa vasten tallentaen mittausdataa liikkeessaan eteenpäin. Koskettavan mittauksen hyötyjä ovat suuri tarkkuus, kyky mitata syviä koloja ja taskuja sekä värillisiä ja läpinäkyviä kappaleita. Haittoina sen sijaan ovat mittausaika ja pehmeiden kappaleiden mittausvääristymät. (Vinesh, R. & Kiran, J, F. 2008, 35–37.)



KUVA 2. Mekaaniseen käsivarsi (Engineering 2016)



KUVA 3. Koordinaattimittakone (Mitutoyo 2016)

2.2 Ei-koskettavat

Ei-koskettavassa mittausmenetelmässä kappaleen geometriaa kuvaavat 2D poikkileikkauskuvat, koordinaattipisteet ja pistepilvet saadaan tallennettua lähettämällä säteilyä, valoa, ääntä tai magneettikenttää kappaleeseen.

Menetelmän etuja ovat:

- ei vaadi fyysistä kosketusta kappaleeseen,
- suurten datamäärien nopea käsittely,
- hyvä tarkkuus ja resoluutio,
- kyky havaita värejä,
- kyky hahmottaa monimutkaisia kappaleita, joista koskettavat mittauspääät eivät suoriutuisi.

Menetelmän haittoja ovat tiettyjen värien, läpinäkyvien tai heijastavien pintojen havaitseminen ja pienempi tarkkuus verrattaessa koskettaviin mittausmenetelmiin.

Nämä voidaan jakaa aktiiviseen ja passiiviseen menetelmään sen mukaan tarkkaillaanko lähetettyä vai palautuvaa eli heijastuvaa säteilyä (kaavio 1). Aktiivisessa skannausmenetelmässä kappaleen geometriatieto saadaan laskettua tarkastelemalla eri tavalla palautuvaa säteilyä. (Vinesh, R. & Kiran, J, F. 2008, 37.)

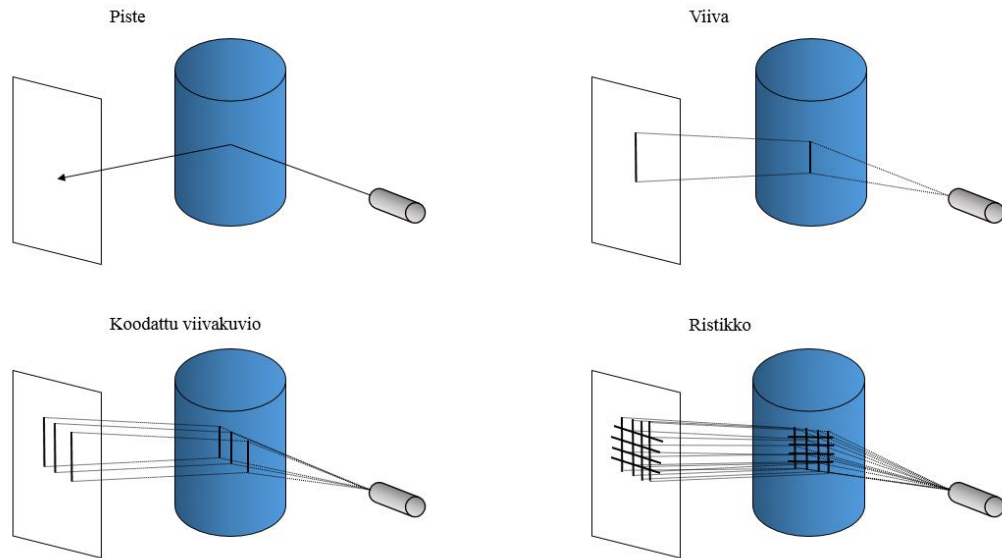


KAAVIO 1. Ei-koskettavat mittausmenetelmät

2.2.1 Strukturoitu valo

Strukturoitua valoa käyttävät skannerit lähettävät valokuvion tunnetussa kulmassa kohteen pintaan. Kappaleen muodot saavat valokuvion vääristymään ja ne tallennetaan kameralla. Tämän jälkeen kuva analysoidaan ja koordinaattipisteet saadaan laskettua. Valokuvio voi olla ristikko, viiva tai vain yksi piste (kuvio 1). Viiva on eniten käytetty strukturoitu valokuvio. Kun viiva saavuttaa kappaleen, se muodostuu pitkin kappaleen pintaa. Tämän jälkeen viivan koordinaattipisteet saadaan laskettua käyttäen kolmiomittausmenetelmää. Skannaus menetelmän parantamiseksi käytetään valokuviota, joka sisältää useita viivoja vierekkäin ja ristissä. (Vinesh, R. & Kiran, J, F. 2008, 39.)

Strukturoitua valoa käyttävät skannerit pystyvät myös hahmottamaan tekstuureja ja värejä sekä digitoimaan dataa erittäin nopeasti, jopa miljoonia pisteitä sekunnissa. (Vinesh, R. & Kiran, J, F. 2008, 40.)



KUVIO 1. Strukturoidun valon periaatekuvat

2.2.2 Time of Flight

Time-of-flight-menetelmässä mitataan aikaa, joka laser pulssilta kestää osua kappaleeseen ja heijastua takaisin lähettimeen (kuvio 2). Kun tiedetään valonnopeus, on mahdollista laskea kuljettu matka. Tällöin etäisyys on likimäärin puolet laser pulssin kulkemasta matkasta (kaava 3) (Vinesh, R. & Kiran, J, F. 2008, 42.).

Jossa,

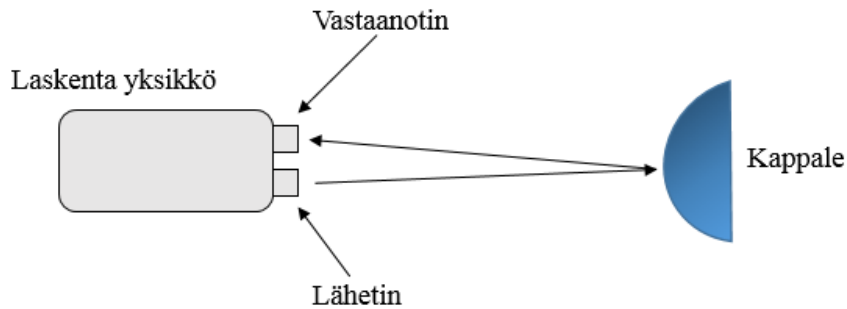
C = valon nopeus,

t = aika.

$$D = C \times \frac{t}{2} \quad (1)$$

TOF-menetelmän hyötyjä ovat, sen kyky mitata satoja, ellei tuhansia pisteitä sekunnissa. Sen avulla pystytään digitoimaan suuria, kaukana olevia objekteja, kuten esim. taloja ja siltoja. Sen tarkkuus vaihtelee muutamasta millimetristä pariin senttimeriin riippuen skannattavan kohteen etäisyydestä. Tarkkuuteen vaikuttaa pulssin leveys, vastaanottimen nopeus ja ajoitusresoluutio.

Menetelmän haittoina ovat skannerien suuri fyysinen koko ja ne eivät kykene mallintamaan kappaleen tekstuureja, ainoastaan geometriaa. Ne eivät ole käytännöllisiä pienten tai keskisuurten kappaleiden digitalisointiin. (Vinesh, R. & Kiran, J, F. 2008, 42.)



KUVIO 2. TOF skannerin periaatekuva

2.2.3 Vaihe-ero mittaus

Vaihe-ero –menetelmää käyttävät skannerit perustuvat myös TOF–menetelmään. Erona on, että nämä mittaavat vaihe-eroa lähetetyn ja vastaanotetun signaalin välillä. Tällä menetelmällä päästään suurempiin mittaustarkkuuksiin, verrattuna perinteisiin TOF–menetelmää käyttäviin skannereihin. (Vinesh, R. & Kiran, J, F. 2008, 42.)

2.2.4 Kolmiomittaus

Kolmiomittauksessa skanneri lähettää lasersäteen kohti kappaletta määrättyssä kulmassa (kuvio 3). Skanneri tunnistaa kappaleesta heijastuvan säteilyn sen osuessa skannerin CCD–kameraan (charge-coupled device).

Kun tunnetaan etäisyys valonlähteen ja kameran välillä, niiden välinen kulma, kameran polttoväli sekä heijastuneen säteilyn pistekoordinaatti kamerassa, pystytään laskemaan heijastuneen säteen koordinaattipisteet kaavan 2 ja 3 mukaisesti. (Vinesh, R. & Kiran, J, F. 2008, 39.)

Jossa,

L = etäisyys lähettimen ja kameran välillä,

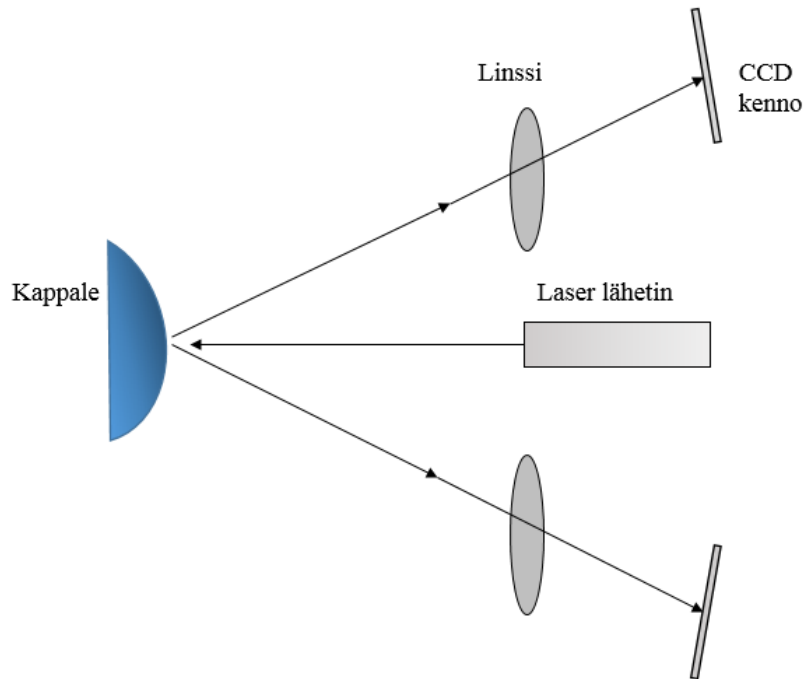
θ = lähettimen ja kameran välinen kulma,

F = kameran polttoväli,

P = heijastuneen säteilyn pistekoordinaatti CCD-kennossa.

$$Z = \frac{F \times L}{P + F \times \tan \theta} \quad (2)$$

$$X = L - Z \times \tan \theta \quad (3)$$



KUVIO 3. Periaatekuva kahden kameran kolmiomittausjärjestelmästä.

3 CREAFORM HANDYSCAN 700

Tässä luvussa käyn läpi Creaform Handyscan 700 käsiskannerin teknisiä ominaisuuksia, käyttöönottoa TAMK:ssa (kuva 4). Käyn läpi vain skannerin laitteistoa. En käsittele tässä skannerin mukana tulevaa ohjelmistoa, sen lisäosia tai niiden käyttöä.

Skanneri käyttää kolmiomittausmenetelmää skannattavan kappaleen pinnan havaitsemiseen. Skannerissa on kaksi CCD –kennolla varustettua kameraa, punaiset LED valot ja laser lähetin. Skanneri lähettää 7 laserviivaa 45 asteen kulmassa vasemmalle ja oikealle sekä siinä on myös yksi lasersäde vaakatasossa, jota voidaan käyttää pienten yksityiskohtien skannaamiseen.



KUVA 4. Creaform HandySCAN 700 (Kuva: Tero Lindroos 2016)

Valmistajan mukaan skannerin mittausnopeus on 480,000 mittaus/s. Mittausalue on 275 x 250 mm. Resoluutio on tarkimmillaan 0,05 mm. Mittaustarkkuus on 0,03 mm. Mittausetäisyys on 300 mm. Suositeltu kappaleen koko on 0,1 – 4 m.

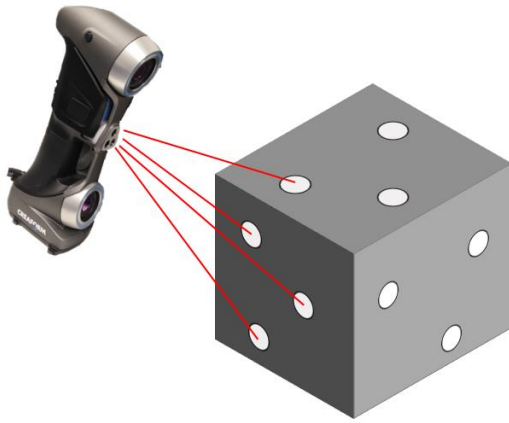
(Creaform: Handyscan. 2016.)

Skannerin mukana tulevia heijastavia asemointimerkkejä (positioning targets) on kiinnitettävä skannattavaan kappaleeseen tai sen viereen ennen skannausta (kuva 5). Skanneri tunnistaa näistä merkeistä oman asemansa koordinaatistossa. Skannerin on nähtävä jatkuvasti vähintään neljä merkkiä ja niitä on kiinnitettävä 2-10 cm:n välein.



KUVA 5. Asemointimerkit (Kuva: Tero Lindroos 2016)

Asemointimerkit tulisi kiinnittää mahdollisimman satunnaisesti, että ne eivät muodosta esim. lineaarista kuviota. Tällöin skanneri saattaa hukata sijaintitiedon tai piirtää skannattavaa pintaa väärälle tasolle. Merkit on suositeltavaa kiinnittää tasaiselle pinnalle. Merkkien kiinnittämistä kaareville muodoille tai lähelle teräviä reunoja, on syytä välttää. Merkit tulisi sijoittaa niin, että skannatessa skanneri näkee ne kohtisuoraan ja silloin kun liikutaan jonkin reunan yli, on reunan toisella puolella oltava asemointimerkkejä, jotta sijaintitieto säilyy (kuvio 4). Skannerin on nähtävä jatkuvasti vähintään neljä merkkiä. Tämä on syytä ottaa huomioon niiden asettelussa.



KUVIO 4. Esimerkki asemointimerkkien käytöstä

Skannattaessa skanneri luo kolmiulotteista kolmioverkkoa (mesh) ja skannauksen etenemistä pystyy seuraavaan reaaliajassa tietokoneen näytöltä. Skannauksen voi keskeyttää missä vaiheessa tahansa ja työtä voidaan jatkaa skannerin menettämättä paikkatietoa edellyttäen että, asemointimerkit ovat samoissa kohdissa, kuin työn alkuvaiheessa. Skannauksen jälkeen dataa päästään käsittelemään VX Model-ohjelmistossa, jossa siihen voi tehdä jälkikäsittelyä, valita tiettyjä muotoja tai pintoja ja viedä niitä toisiin CAD-ohjelmiin.

4 SKANNERIN KÄYTTÖÖNOTTO

TAMK:n konelaboratorioon hankittiin joulukuussa 2015 Creaform HandySCAN 700-käsikanneri. Skanneri tulee tukemaan TAMK:iin aiemmin hankittuja 3D-laitteita, joihin kuuluvat kattava valikoima 3D-tulostimia ja uusi koordinaattimittakone. Skannerin hankintaan sisältyi valmistajan oma VX Elements-ohjelmisto, johon hankittiin lisäksi Model-lisäosa, joka on välttämätön, mikäli skannattua dataa halutaan muokata tai viedä toisiin CAD-ohjelmistoihin.

Jälleenmyyjä järjesti noin puolen työpäivän mittaisen koulutustilaisuuden skannerin ja sen ohjelmiston käytöstä. Koulutus antoi vain perusteet niiden käytöstä. Skannaus tekniikan oppii nopeasti, mutta ohjelmiston käytön sisäistäminen vaatii syvällisempää opiskelua.

Skanneri sijoitettiin konetekniikan laboratorion 3D-mittaushuoneeseen, jossa on sen käyttöön tarkoitettu tietokone, skannaustaso ja pyörityspöytä. Tietokone on pöytämallinen työasema. Se rajoittaa tietyltä osin skannerin siirrettävyyttä. Hankittaessa skanneria tulee myös muistaa, että skannausdatan käsittely vaatii käytettävältä tietokoneelta paljon prosessointitehoa, keskusmuistia (taulukko 1) ja mittauksen datat voivat olla kooltaan merkittäviä. Tämä osoittautui aluksi suureksi ongelmaksi koulussa käytetyn tietokoneen kanssa. Tämän vuoksi koneeseen hankittiin enemmän keskusmuistia, jotta se ei rajoittaisi mitattavien kappaleiden kokoa.

TAULUKKO 1. Creaform:n minimi- ja suositusvaatimukset tietokoneen laitteistolle. (Creaform 2016)

	Minimi vaatimukset	Suosittelavat vaatimukset
Käyttöjärjestelmä	Windows 7 Professional 64-bits	Windows 7 Professional 64-bits
Proessori	Intel Core i7	Intel Core i7-4910MQ
Näytönohjain	Nvidia Quadron K1100M, OpenGL 3.2	Nvidia Quadro K1100M
Fyysinen muisti	8 GB	32 GB
Näytön resoluutio	1280 x 800	1920 x 1080

5 TUTKIMUSMENETELMÄT

Työn tutkimusmenetelmänä käytettiin kvalitatiivista eli laadullista tutkimusmenetelmää. Kvalitatiivisessa tutkimusmenetelmässä on tarkoitus tutkia aihetta mahdollisimman kokonaisvaltaisesti (Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. 2015. 161). Tietoa kerättiin havainnoimalla eri skannaustilanteita, tutkimalla kirjallista materiaalia ja kirjaamalla muiden laitetta käyttäneiden ihmisten kommentteja.

Työ aloitettiin ilman suurempaa pohjatietoa ja oli tärkeää ymmärtää laitteen toimintaa ennen, kun sen käyttökohteita, mahdollisuuksia ja rajoituksia voisi tarkemmin tutkia. Tietoa itse laitteesta kerättiin kokeilemalla eri mallikappaleiden skannauksia ja kirjaamalla muistiinpanoja ilmenneistä kokemuksista ja haasteista. Myös muiden ihmisten käyttökokemuksista oli hyötyä päätelmiä tehtäessä. Työn teoriaa täydennettiin eri lähteistä saaduilla tiedoilla.

Skannerilla tehtiin esimerkkiskannauksia useista eri kappaleista, mutta tähän työhön otettiin niistä esille kaksi.

5.1 PUTKILASER

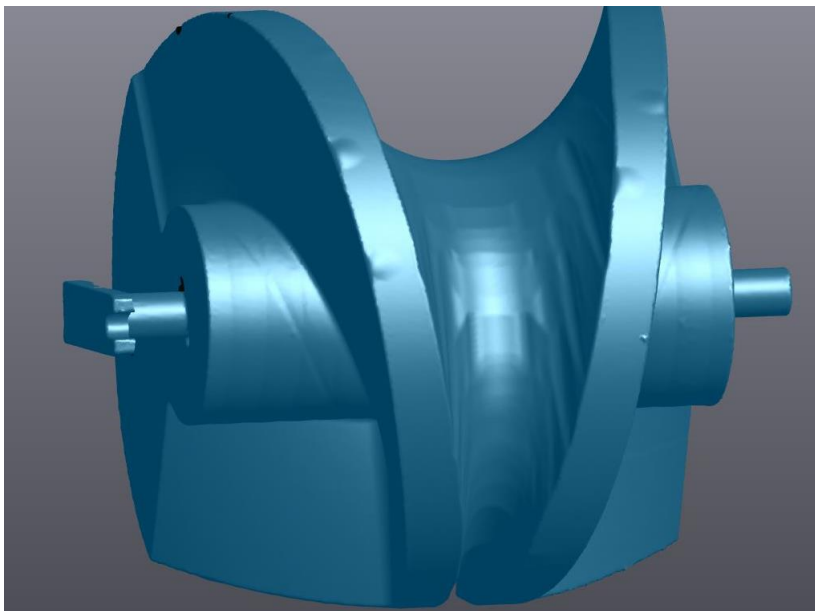
Yksi skannerilla tehdyistä teollisuuden tuotteen esimerkkiskannauksista oli Suomen Putkilaser Oy:lle. Tarkoituksena oli skannata yrityksellä tuotannossa käytettävä muovinen tukirulla. Skannauksen lisäksi siitä haluttiin jälkikäsitellyssä poistaa kulumisen aiheuttamia jälkiä ja kolhuja. Tämän jälkeen tukirullasta luotiin pintamalli, jota voidaan vielä jatkokäsitellä CAD-ohjelmistossa.

Ennen skannausta tukirullaan kiinnitettiin riittävä määrä asemointimerkkejä, jotta sitä voitaisiin liikutella vaivattomasti skannauksen aikana ilman, että skannerin sijaintitieto häviää (kuva 6).



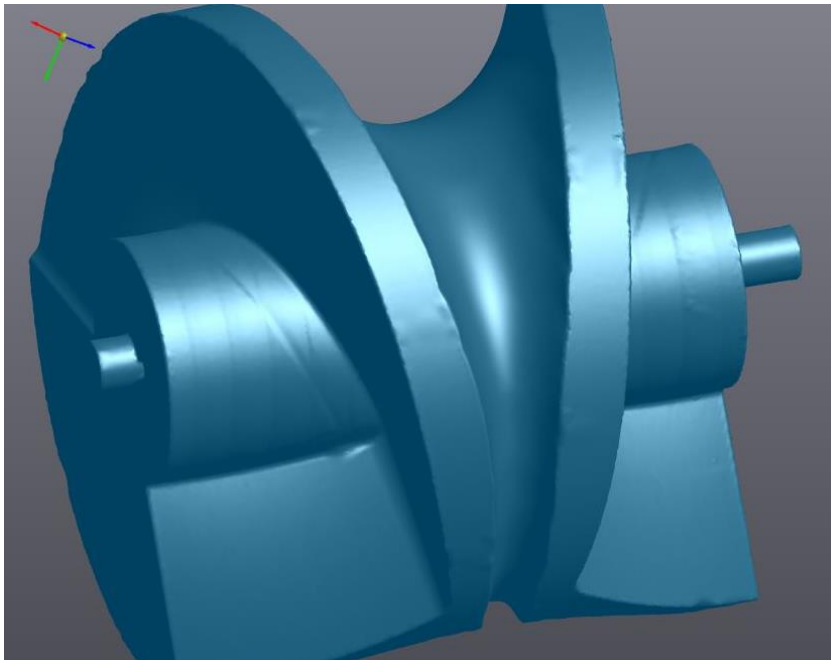
KUVA 6. Tukirulla valmisteltuna skannaukseen (Kuva: Tero Lindroos 2016)

Tukirullan pinta oli mattapintainen ja musta. Skannerille ei tuottanut vaikeuksia skannata kappaleen pintaa. Skannauksen jälkeen tukirullan mesh-mallista poistettiin kulumisen aiheuttamia vaurioita, koloja ja kuoppia. Myös ohjelman täyttämät asemointimerkkien paikat olivat osin koholla, joten niitä jouduttiin myös jälkikäsittelemään (kuva 7).



KUVA 7. Tukirullan Mesh ennen jälkikäsitteilyä

Jälkikäsitteilyiden jälkeen tukirullan mesh-malli näytti hyvältä ja siinä ei enää ollut nähtävissä suuria poikkeamia muodossa (kuva 8).



KUVA 8. Tukirullan Mesh jälkikäsittelyiden jälkeen

5.2 MITUTOYO

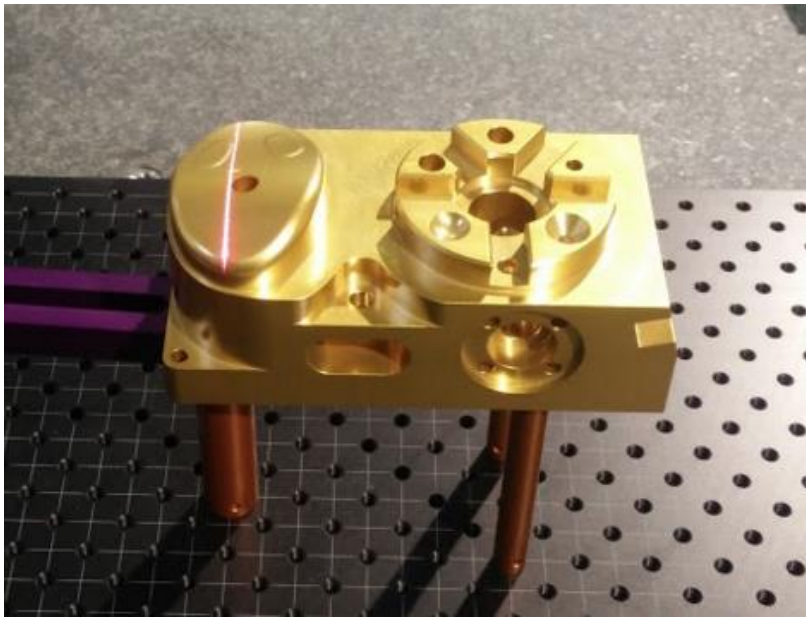
Laserskannauksen todellinen tarkkuus oli yksi asia mitä haluttiin päästä tutkimaan ja siitä oli tullut paljon kysymyksiä aiheesta kiinnostuneilta tahoilta. Pääsimme vierailulle Mitutoyo:n Pirkkalan yksikköön. Tarkoituksena oli vertailla Mitoyo:n koordinaattimittakoneeseen asennettavan laserskannaavan mittapään (kuva 9) ja Creaform:n skannerin keskinäisiä mittatuloksia sekä verrata molempien skannereiden mittaustuloksia mitattavan kappaleen CAD-malliin.

Mitutoyo:n laserskannerissa (Laser Line Scanning Probe) on yksi laserviiva ja se käyttää kolmimittausmenetelmää kappaleen digitointiin. Valmistajan mukaan sen mittaussnopeus on 75,000 pistettä/s. Mittausleveys on 60 mm. Mittaustarkkuus on 0,015 mm. Mittausetäisyys on 93 mm. (Mitutoyo. 2016.)



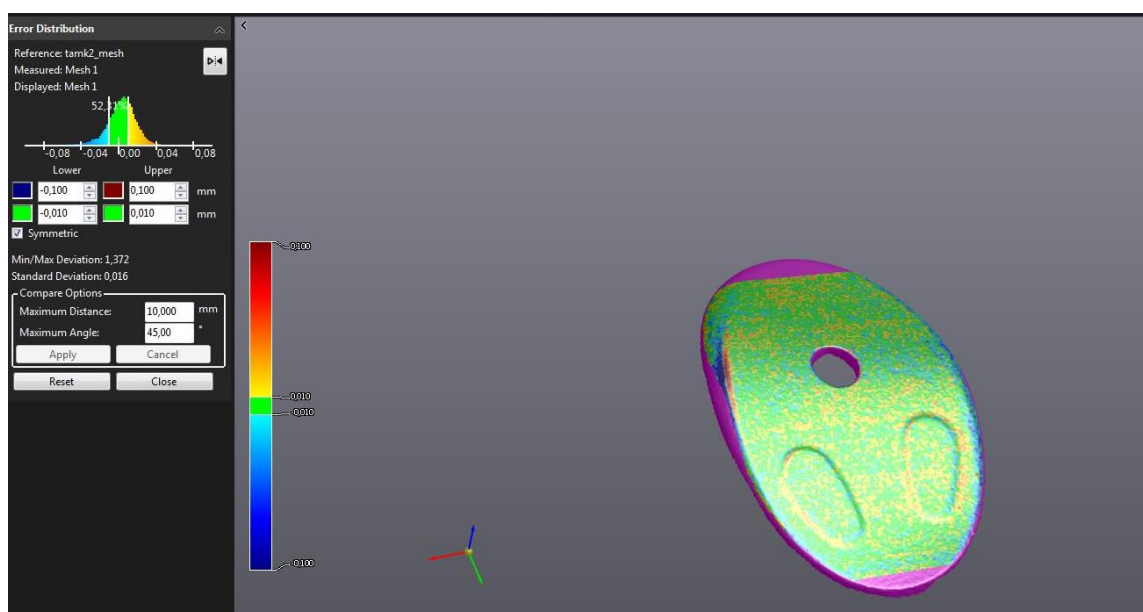
KUVA 9. Mitutoyo Laser Line Scanning Probe (Kuva: Tero Lindroos 2016)

Vertailtavana kappaleena oli Mitutoyon demo-kappale, josta oli olemassa CAD-malli vertailua varten. (Kuva 10.) Kappaleesta valittiin tietty muoto, jota haluttiin vertailla. Mitutoyo:n skannauksen osalta se tehtiin heidän tiloissaan. Vertailuskannaus Creaform:n skannerilla tehtiin TAMK:n laboratoriossa. Vertailussa käytettiin Creaform:n VX Elements-ohjelmistoa, jossa on mahdollisuus vertailla kahta mesh-tiedostoa keskenään sekä CAD-malliin. VX Elements-ohjelman vertailuominaisuutta ei päästä täysin hyödyntämään, koska tarvittaisiin VX Inspect-lisäosa, jolla saataisiin tarkempia mittaustuloksia sisältävä mittauspöytäkirja vertailun tuloksista. Tämän vuoksi mittaustuloksista ei voitu tehdä tarkempia johtopäätöksiä kummankaan 3D-skannerin eduksi.

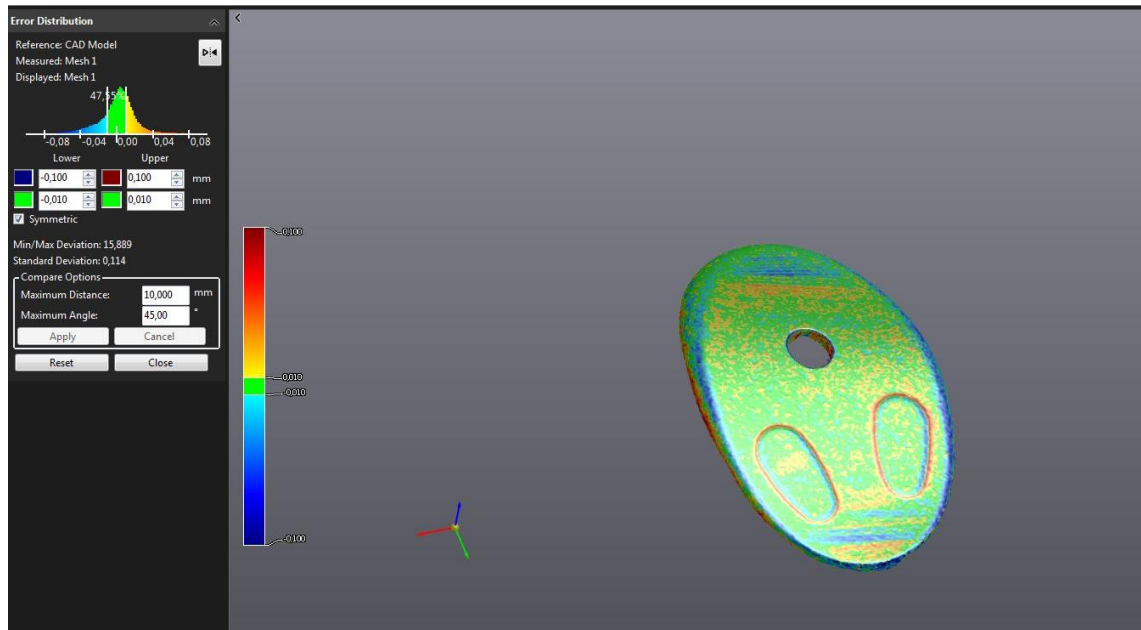


KUVA 10. Vertailussa käytetty mallikappale (Kuva: Tero Lindroos 2016)

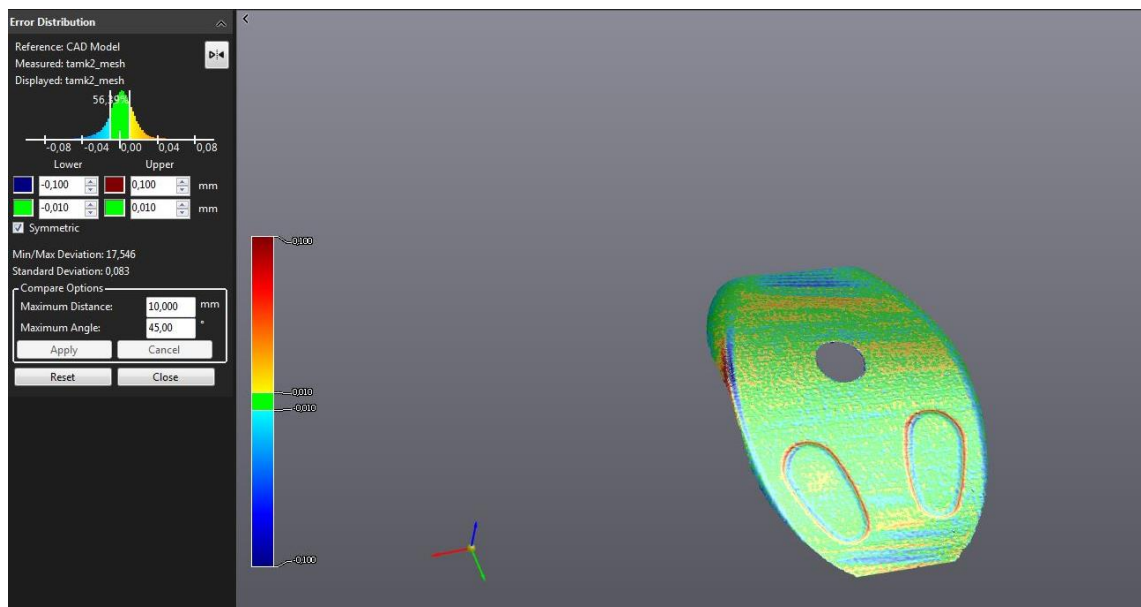
Ohjelmiston puutteellisuuden vuoksi oli mahdollista vain vertailla mesh-tiedostoja prosentuaalisesti toisiinsa (kuva 11) ja CAD-malliin. Vertailussa toleranssiksi asetettiin $\pm 0,01 \text{ mm}$. Creaform:n mittausdataa verrattuna CAD-malliin, todettiin sen olevan 47,55 % toleranssin sisällä (kuva 12). Mitutoyo:n mittausdatasta toleranssin sisällä oli 56,37 % (kuva 13). Päätelmiä tarkkuuden suhteen ei tässä tehty. Mittauksessa tulisi verrata tarkemmin jonkin tietyn alueen eroavaisuutta. Tässä mittauksessa mesh-tiedostojen eri leikkaukset muuttavat mittaustuloksia, sillä suurimmat poikkeamat CAD-malliin tulevat kappaleen reunoilla voimakkaasti kaarevilla alueilla.



KUVA 11. TAMK:n ja Mitutoyo:n mesh-tiedostot vertailussa



KUVA 12. TAMK:n mesh verrattuna CAD-malliin



KUVA 13. Mitutoyo:n mesh verrattuna CAD-malliin

6 SKANNERIN KÄYTTÖMAHDOLLISUUDET JA RAJOITUKSET

Tässä osiossa käyn läpi ko. skannerin eri käyttömahdollisuuksia ja -rajoituksia koulussa käytettävissä olevien tilojen ja skannerin teknisten ominaisuuksien rajoissa. Rajaan tämän osion koskemaan vain kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelman sovellutuksia, jotka voivat olla TAMK:n asiakkaiden tai opiskelijaprojektien kaltaisia töitä.

6.1 Tila

Skanneri sijoitettiin tilaan, jossa on mittauspöytä ensisijaisesti skannaustöitä varten. Mittauspöydän pinta-ala on $1200 \times 800 \text{ mm}$. Skannerin tila on normaalin asuinhuoneen korkuinen. Tämä tuo rajoituksia mitattavan kappaleen korkeudelle. Samaan tilaan on sijoitettu myös koordinaattimittakone. Tilassa ei ole lattiapinta-alaa, kuin väliaikaisen skannauksen suorittamiseen. Kulku tilaan tapahtuu levikeoven kautta. Tilassa skannattavan kappaleen maksimi pituus on noin 2 m .

Mikäli halutaan skannata suurempia kappaleita, täytyy skannaus suorittaa laboratorion isommassa tilassa. Jotta tämä onnistuu, täytyy skannauksessa käytettävä tietokone ja sen ohjelmat siirtää toiseen tilaan työn ajaksi.

6.2 Skannerin ja laitteiston rajoitukset

Skannerilla on mahdollista skannata tarkasti pieni sekä suuriakin kappaleita. Skannerin on oltava lähellä kappaletta, noin 30 cm etäisyydellä. Skanneria voidaan liikuttaa vapaasti skannattavan kappaleen ympärillä ja sen tarvitsee ainoastaan nähdä riittävä määrä asemointi merkkejä. Skanneri on oltava kytkettynä jatkuvasti tietokoneeseen USB-kaapelin välityksellä. Kaapelin pituus on noin $3,5 \text{ m}$, joka rajoittaa etäisyyttä skannerin ja tietokoneen välillä. Tämä ongelma tulee esiin varsinkin kun käytetään pöytämallin tietokonetta.

6.3 Kappaleen ominaisuudet

Työtä suunniteltaessa täytyy ottaa huomioon kappaleen ominaisuuksia, jotta pystytään määrittelemään paras mahdollinen skannaustekniikka. Ensimmäiseksi on hyvä

suunnitella, mitä halutaan tehdä. Onko kappaleita yksi vai useita. Tämän jälkeen asioita, joita on syytä miettiä, ovat kappaleen:

- koko,
- monimutkaisuus,
- geometria,
- materiaali,
- pinnan laatu.

Kappaleen koko luo rajoituksia sekä skannaustilan, että skannaus parametrien suhteen. Suurille kappaleille ei ole suotavaa käyttää suuria skannaus resoluutioita, koska tällöin käsiteltävät datamäärät voivat kasvaa liian suuriksi, mikä taas luo haasteita tietokoneelle. Tämän takia täytyy suunnitella onko skannattavassa kappaleessa esim. joku tietty kohta, joka vaatii suurta resoluutiota, että se saadaan skannattua tarkasti.

Geometria ja monimutkaiset muodot luovat omat haasteensa skannaukseen. Terävät koneistetut reunat ovat usein hankalia skannata. Myös syvien upotuksien, porauksien sekä taskujen pohjat ovat usein vaikea saada skannattua. Siksi onkin tärkeää miettiä, voidaanko ne mallintaa erikseen ja lisätä skannaukseen myöhemmin jälkikäsittelyvaiheessa.

Kappaleen materiaali, pinnanlaatu sekä läpinäkyvyys ovat myös huomioitavia asioita. Kiiltävä musta tai läpinäkyvä pinta on skannerille vaikea havaita. Tähän voidaan käyttää apuna ohutta mattapintaista pohjaväriä.

6.4 Käyttökohteet

Creaform Handyscan 700-skannerin käyttökohteita kone- ja tuotantotekniikassa on todella paljon. Näistä tärkeimpiä ovat:

6.4.1 Prototyyppien skannaukset, pikamallinnukset sekä geometria- ja muodonmuutosanalyysit

Uusien tuotteiden suunnittelussa ja tuotekehityksessä skannauksen avulla prototyypistä voidaan luoda nopeasti 3D malli, jota päästään tämän jälkeen käsittelemään CAD

ohjelmistossa. Voidaan kerätä tietoa lämpökäsittelystä tai korroosiosta johtuvat muodonmuutoksista tai simuloida kappaleeseen sen käytössä syntyviä rasituksia.

6.4.2 Kappaleiden 3D-tulostustyöt

3D skannerilla voidaan skannata jokin haluttu kappale ja jälkikäsittelyiden jälkeen tulostaa siitä 3D tulostimella lähes alkuperäisen kappaleen mittojen mukainen kappale. Myös kappaleen muotoon tai mittakaavaan voidaan tehdä muutoksia ennen tulostusta.



KUVA 14. 3D-tulostettu ja koneistettu kappale (Kuva: Tero Lindroos 2016)

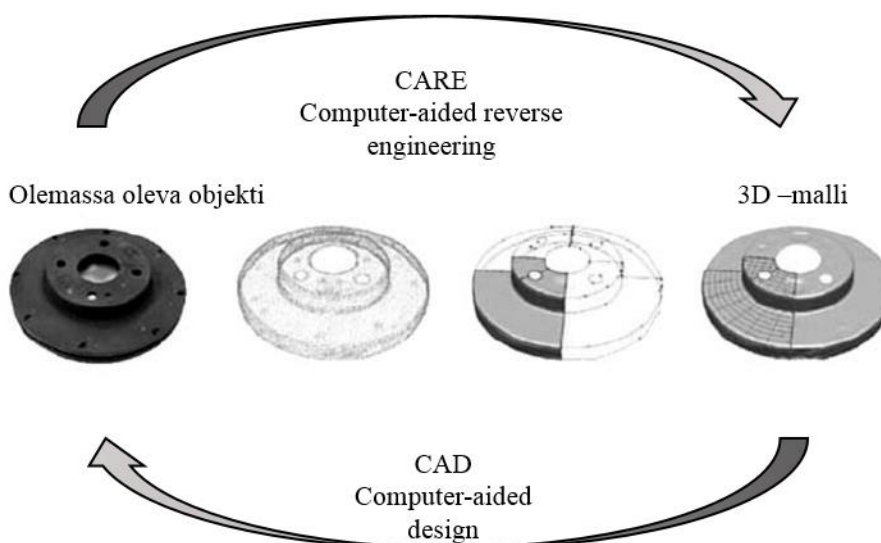
6.4.3 Tuotteiden laaduntarkkailu

Laaduntarkkailu on tärkeää valmistettaessa paljon samaa tuotetta, jolloin varmistetaan tuotteiden yhdenmukaisuus ja laatu. Monimutkaisten kappaleiden pintojen mittaus koordinaattimittakoneella voi olla haasteellista ja viedä paljon aikaa. 3D-skannauksen avulla voidaan verrata useampia tuotteita toisiinsa tai CAD-malliin tai alkuperäisiin piirustuksiin. Tietenkin täytyy ottaa huomioon tarkkailtavan kappaleen pinnanlaatu ja tarvittava mittatarkkuus.

6.4.4 Käänteissuunnittelu

Käänteissuunnittelussa (reverse engineering), tässä tapauksessa voidaan puhua tietokoneavusteisesta käänteissuunnittelusta (CARE), jossa halutaan luoda CAD-malli valmiista kappaleesta (kuva 15). Varsinkin jos kappaleessa on paljon muotoja ja yksityiskohtia, on laserskannaus nopea tapa digitoida se. Pistepilvestä tai kolmioverkosta

luotuun CAD-malliin voidaan luoda muutoksia, mitoittaa uudestaan tai luoda piirteitä, joita skanneri ei välttämättä saa mitattua tarkasti. Tämä voi olla tarpeellista myös jos vanhasta tuotteesta ei ole olemassa piirustuksia tai CAD-malleja.



KUVA 15. Tietokoneavusteisen suunnittelun periaatekuva. (Computer-aided reverse engineering 2016)

6.4.5 Työkalujen, muottien ja jigien suunnittelu

Valmistuksessa käytettävien työkalujen, muottien ja jigien suunnittelu voi joskus olla hankalaa. Laserskannauksen avulla kappaleelle voidaan suunnitella erikoistyökaluja, mittatarkkoja muotteja tai kiinnitysjigijä.

6.4.6 Dokumentointi

Laserskannerilla tuotteesta saadaan nopeasti luotua mittatarkkoja kuvia ja 3D-malleja, joita voidaan käyttää tuotteen dokumentaatioissa sekä työohjeissa ja markkinointiesityksissä.

6.4.7 Kilpailevan tuotteen analyysit

Tuotekehityksessä on tärkeää huomioida myös kilpailijan tuotteet. Laserskannauksella voidaan analysoida tarkasti kilpaileva tuote ja verrata sitä omaan tuotteeseen. Tarkoituksena ei välttämättä ole kopioida tuotetta, vaan analysoida miten se toimii, mistä

osista se koostuu, arvioida sen kustannuksia ja tunnistaa mahdolliset patenttiloukkaukset (Level 3 inspection, Reverse Engineering.).

6.5 Lisähankinnat

Skanneria hankittaessa on syytä huomioida laitteisto, jolla sitä käytetään. Skanneri on helppo ja nopea pakata omaan kuljetuslaukkuun, jos sitä on tarve siirtää. Tässä pöytämallin tietokone on suuri rajoite. Kannettava tietokone on erittäin suositeltava hankinta, jos halutaan parempaa liikuteltavuutta. On suositeltavaa myös, että tietokoneen prosessointiteho on suuri ja keskusmuistin määrä on korkea, jotta skannausdataa pystytään käsittelemään mahdollisimman vaivattomasti ja pystytään skannaamaan suuriakin kappaleita. Työtilaan olisi myös hyödyllistä hankkia isompi näyttö, josta skannaamista ja sen etenemistä pystyisi paremmin seuraamaan, kuin verrattain pienestä tietokoneen näytöstä.

7 POHDINTA

Tässä opinnäytetyössä käytiin läpi 3D-skannerin käyttöönottoa oppilaitoksessa ja sen käyttömahdollisuuksia konetekniikan koulutuksessa. Lisäksi käytiin läpi yleisimmät 3D-skannausmenetelmät ja niiden tärkeimpiä piirteitä. Tarkoituksena oli korostaa asioita, joita tulee ottaa huomioon 3D-skannaustyön suunnittelussa. 3D-skannauksesta löytyi niukasti kirjallisuutta, mikä hankaloitti tiedon keräämistä.

Creaform Handyscan 700 on hyvä vaihtoehto sen hyvän tarkkuuden ja monikäyttöisyyden ansiosta. Tietenkään sen tarkkuus ei yllä koordinaattimittakoneiden tasolle, mutta aina tämä ei ole vaadittavaa. Tärkeimpänä seikkana on huomioida sen käytössä oleva tietokone ja, että se on tarpeeksi tehokas suoriutumaan suurista datamääristä. Skannerin todellinen tarkkuus jäi epäselväksi kunnollisen ohjelmiston puutteen vuoksi.

3D-skannaus tulee yleistymään nopeasti ja sen käyttökohteet ovat todella laajat. Siksi on myös tärkeää, että koulussa pystytään tarjoamaan opiskelijoille mahdollisuuksia perehtyä uusiin tekniikan sovellutuksiin, joista on myöhemmin apua työelämässä. Tämän skannerin opetuskäytöllä on mahdollista saavuttaa hyvät perustiedot 3D-skannaamisesta.

LÄHTEET

Computer-aided reverse engineering. Luettu 23.3.2016

https://www.researchgate.net/profile/David_Page5/publication/226177485/figure/fig1/AS:302248165953541@1449072986798/Figure-21-Computer-aided-reverse-engineering-CARE-process.png

Creaform: Technical Specifications, Handyscan 3D handheld 3D scanner. Luettu 1.3.2016 <http://www.creaform3d.com/en/metrology-solutions/products/portable-3d-scanner/technical-specifications-handyscan-3d>

Creaform: Minimum System Requirements. Luettu 14.4.2016
<http://www.creaform3d.com/en/customer-support/minimum-system-requirements>

Engineerin.com: A Portable Measuring Arm for High-End 3D Applications. Luettu 23.3.2016
<http://www.engineering.com/BIM/ArticleID/11347/A-Portable-Measuring-Arm-for-High-End-3D-Applications.aspx>

Heinänen, T. & Järvinen, M. 2014. Mittaustekniikka. 1. painos. Helsinki: Sanoma Pro.

Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. 2015. Tutki ja kirjoita. 20. Painos. Porvoo: Bookwell Oy.

Level 3 inspection, Reverse Engineering. Luettu 12.3.2016
<http://level3inspection.com/services/product-modernization/>

Mitutoyo: Coordinate Measuring Machines. Luettu 23.3.2016
<http://www.mitutoyo.com/wp-content/uploads/2015/04/L-Section-US-1003.pdf>

Mitutoyo: SurfaceMeasure Non-Contact Line Laser Probe For CMM. Luettu 14.4.2016
<http://ecatalog.mitutoyo.com/SurfaceMeasure-Non-Contact-Line-Laser-Probe-For-CMM-C1814.aspx>

Vinesh, R. & Kiran, J, F. 2008. Reverse Engineering, An Industrial Perspective. London: Springer.

LIITTEET

Liite 1. Creaform Handyscan 700-asennusohjeet

1(5)

Pakkauksen sisältö

1. VX Elements asennustiedostot
2. Virtalähde
3. USB 3.0 kaapeli
4. Asemointi merkit
5. Skanneri
6. Kalibrointilevy (vaahtomuovin alla)

Creaform Handyscan 700 komponentit

1. Punaiset LED valot
2. Kamera
3. Laser
4. Kamera



Tekniset tiedot (Creaform)

Mittausnopeus	480,000 mittausta/sekunti
Skannaus ala	275 x 250 mm
Resoluutio	0,05 mm
Tarkkuus	0,03 mm
Mittausetäisyys	300 mm
Kappaleen suositeltu koko	0,1 – 4 m
Tallennus formaatit	.dae, .fbx, .ma, .obj, .ply, .stl, .txt, .wrl, .x3d, .x3dz, .zpr

Näppäin toiminnot**1. Valikko**

- toimintatilan valinta (Zoom-/Suljinaika -tila).

2. (+)

- Zoom -tila
 - Nopea painallus, tarkenna.
 - Tuplapainallus, sovita näyttöön.
- Suljinaika – tila
 - Suurennä suljinaikaa.

3. (-)

- Zoom – tila
 - Nopea painallus, loitonna,
 - Tuplapainallus, lukitse/vapauta kuvakulma.
- Suljinaika – tila
 - Pienennä suljinaikaa.

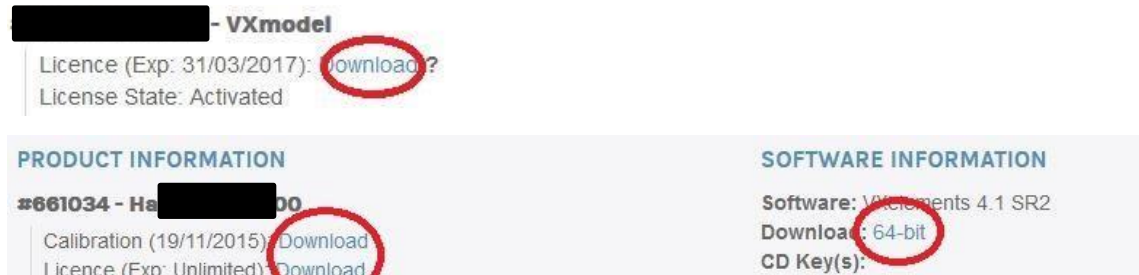
4. Skannaus näppäin

- Pitkä painallus, siirry/poistu skannaus tilasta.
- Nopea painallus, aloita/lopetä skannaus.
- Tuplapainallus, muuta laser tilaa (7 ristissä/ 1 vaakatasossa)

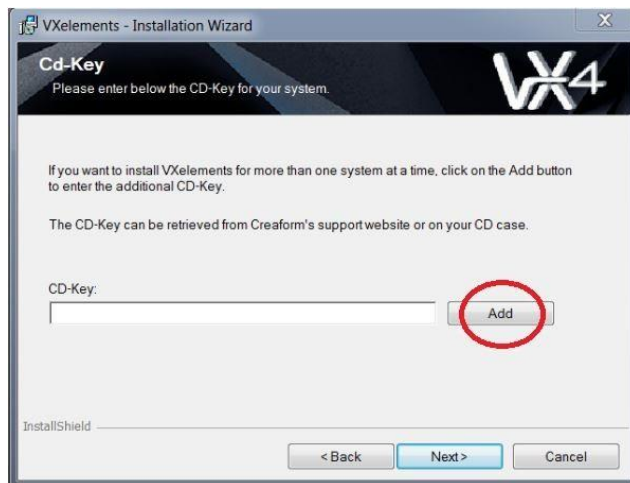


VX Elements-ohjelmiston asennus

1. Kirjaudu <http://support.creaform3d.com>
2. Mene My Products
3. Lataa ohjelmiston asennustiedosto sekä lisenssi- ja kalibrointitiedostot.



4. Avaa VX Elements asennustiedosto (VXelements.exe)
5. Kopioi CD-Keytä ja lisää ne yksitellen ja paina Add.



6. Seuraa asennus loppuun.
7. Avaa VX Elements.
8. Mene Configure → Product Manager. Avaa lisenssi- ja kalibrointitiedostot.
9. Ohjelma pitäisi ilmoittaa, että lisenssi ja kalibrointi ovat nyt ajan tasalla.

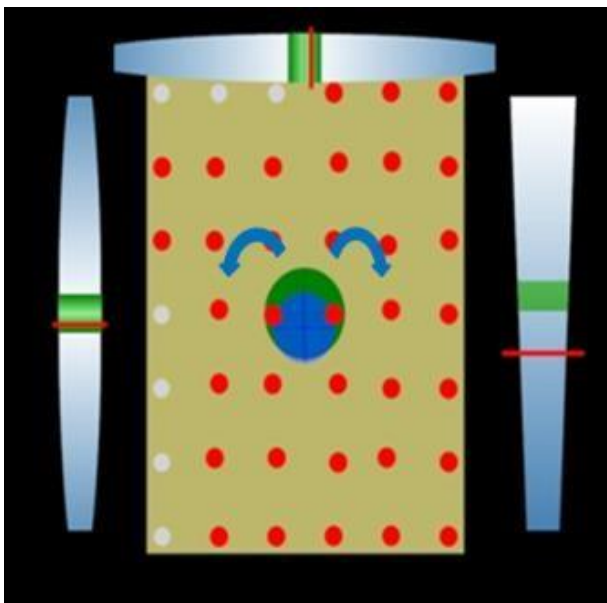
License Expiration Date		Latest Calibration Date	
Unlimited	✓	19.11.2015	✓
409 Day(s) left	✓	N/A	

Järjestelmän asennus

1. Kytke virtalähde pistorasiaan.
2. Kytke virtalähteen johto USB kaapeliin.
3. Kytke USB kaapeli USB **3.0** porttiin.
4. Kytke USB ja virtakaapeli skanneriin

Skannerin kalibrointi

Muutokset ympäristössä voivat vaikuttaa skannerin kalibrointiin, lähinnä johtuen paineen tai lämpötilan vaihteluista. Skannerin kalibroinnilla luodaan optimaaliset mittausolosuhteet.



1. Aseta kalibroitilevy tasaiselle alustalle, jossa ei ole lähellä heijastavia pintoja.
2. Paina *Scanner Calibration*, VX Elements-ohjelmassa.
3. Pidä skanneria noin 15 cm etäisyydellä kalibroitilevyn yläpuolella.
4. Aloita kalibrointi skannaus – painikkeella.
5. Siirrä hitaasti skanneria pois päin levystä ja pidä skanneria oikealla kohdalla ohjelman kuvaajan mukaisesti. Kalibroinnissa suoritetaan 10 mittausta kohtisuoraan eri korkeudelta ja 4 mittausta eri kulmista.
6. Kun kalibrointi on valmis, hyväksy se *OK*-painikkeella.

Asemointimerkkien käyttö

Asemointimerkit tulisi kiinnittää mahdollisimman satunnaisesti, mahdollisimman tasaiselle pinnalle. Merkkien kiinnittämistä kaareville muodoille tai lähelle teräviä reunoja, on syytä välttää. Skannerin on nähtävä jatkuvasti vähintään **neljä** merkkiä.